

УДК 533.6.07:624.042.41

д.т.н., професор Е.В. Горохов,
д.т.н., профессор С. Г. Кузнецов,
Э. А. Лозинский, А. А. Дроздов,

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

НАДЕЖНОСТЬ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕННЫХ ОПОР РАСПОЛАГАЕМЫХ НА КРОВЛЕ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В данной статье представлена область применения антенных опор. Выявлен недостаток научных знаний при обтекании ветровым потоком плоской кровли, который послужил предпосылкой для исследования данного вопроса. Описана методика физического моделирования и проведения экспериментального исследования модели высотного здания в метеорологической аэродинамической трубе ДонНАСА. Представлены примеры результатов экспериментальных исследований. Определены средние локальные коэффициенты C_{pi} на кровле высотных зданий которые позволили определить образование конического вихря, что определяет отличную спецификацию ветрового нагружения мачт, располагаемых на кровле высотных зданий в отличие от нормативной документации.

Ключевые слова: *высотное здание, строительная аэродинамика, испытания в аэродинамической трубе, локальный коэффициент, конический вихрь, ветровой поток.*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для повышения качества связи и обслуживания постоянно растущего числа абонентов, а также с целью покрытия сетью новых территорий мобильные операторы увеличивают количество базовых станций.

Работа мобильной сотовой связи основана на принципе деления определенной территории на зоны, так называемые «соты» радиус которых в условиях застройки составляет до одного километра. Типовая станция состоит из нескольких компонентов: передающее оборудование и мачта (опора). К мачте предъявляются следующие требования: несущая способность элементов, предельно-допустимые величины отклонения верхней точки от вертикали, на которой располагаются приемно-передающие антенны.

При передаче волн к базовой станции одной из помех является окружающая застройка. Поэтому для застроенных территорий наилучшим местом расположения мачт мобильной связи выбираются здания с

максимальной высотой. В последнее время для этих целей выбираются современные высотные здания, которые формируют сложную картину обтекания их ветровым потоком и в связи с этим усложняют задачу оценки ветровых нагрузок на подобные конструкции (см. рис.1.1) [12].



Рис.1.1. Расположение антенных опор на кровле высотных зданий: а) г. Архангельск, пр-т Чумбарого-Лучинского б) г. Одесса, ул. С. Варламова, 32, гостиница Юность.

При расчетах мачт на несущую способность ветровые нагрузки являются основными. В действующих нормативных документах определения ветровых нагрузок нет метода расчета ветровых нагрузок для рассматриваемого расположения конструкции. В связи с этим и выше перечисленным возникает необходимость научного исследования данной проблемы.

Многие исследования показали, что наихудшие средние и максимальные отрицательные локальные коэффициенты ветрового давления на плоской кровле возникают при угловых направлениях ветрового потока. При таких углах атаки образуются конические вихри вдоль краев крыши (см. рис. 1.2). Интерес к поведению этих вихрей возник благодаря неожиданному несоответствию между максимальными и среднеквадратическими поверхностными давлениями, измеренными под их влиянием [11].

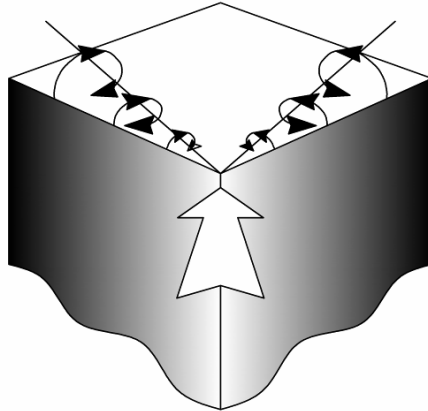


Рис. 1.2. Конические вихри образующиеся при обтекании ветровым потоком 45°.

Таким образом возникает необходимость экспериментального и физического моделирования обтекания плоской кровли и оценка влияния ветровых воздействий на несущие конструкции антенных опор.

2. МАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ПЛОСКОЙ КРОВЛИ ВЕТРОВЫМ ПОТОКОМ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ ДОННАСА.

Главным условием подобия аэродинамических процессов в натуре и на модели является геометрическое подобие, для обеспечения которого соответствующие размеры натуральных зданий l_n и моделей l_m должны соответствовать единому масштабу линейных размеров [1, 2]:

$$M_i = \frac{l_m}{l_n}. \quad (2.1)$$

Учитывая реальные натурные размеры зданий и особенности компоновки рабочей части метеорологической аэродинамической трубы ДонНАСА (МАТ-1) шириною 1 м, был выбран масштаб модели $M = 1:300$ высотного здания с плоской кровлей. Выбранные размеры модели позволили создать соответствующие условия турбулизации и торможения приземного пограничного слоя (барьер и элементы шероховатости выполненные в виде кубиков в количестве около 3000 шт). Вихри большого размера были созданы в потоке двояковыпуклыми шпильями (турбулизаторами) [3, 4].

Пограничный слой атмосферы моделировался с помощью элементов шероховатости, барьера и турбулизаторов. Полученные таким образом характеристики потока были исследованы с помощью пневмотрубки (трубка Пито-Прандтля) в вертикальной плоскости перед моделью здания на расстоянии у границы поворотного круга. При исследованиях установилось что скорость воздушного потока в аэродинамической трубе стабилизируется на

расстоянии 500 мм от нижней поверхности рабочей части – "земли". На этой высоте ($z = 500$ мм, $\mu q = 0,999$) перед поворотным кругом в рабочей части МАТ-1 была установлена трубка Пито, с помощью которой постоянно измерялся скоростной напор свободного воздушного потока [5, 7]:

$$q_{\infty} = \frac{\rho V^2}{2}, \quad (2.2)$$

где ρ - плотность воздуха (при испытаниях: $\rho = 1,21$ кг/м³);

V – скорость воздушного потока (при всех азимутах ветра $\beta = 0^{\circ} \dots 360^{\circ}$ и при двух вариантах степени турбулентности).

Для турбулентного течения воздуха правомочно изменение направления и скорости в каждой ее точке. Характеристикой турбулентности, которая учитывает пульсации, является степень турбулентности [8, 9]:

$$I_i(z) = \frac{\sigma_i(z)}{V(z)}, \quad (2.3)$$

где $\sigma_i(z)$ – пульсационная составляющая скорости, осредненная по времени на высоте z ;

$V(z)$ – средняя во времени скорость потока на высоте z .

При физическом моделировании аэродинамических процессов в турбулентных течениях необходимо, чтобы степени турбулентности в подобных течениях были одинаковыми:

$$I_n = I_m, \quad (2.4)$$

где I_n и I_m – степень турбулентности, соответственно, натурального и модельного течения.

Точное выполнение этого условия является сложной задачей, что и отличает МАТ-1 от других установок, которая позволяет моделировать приземный пограничный слой атмосферы соответствующий аналогичным природным условиям.

Важную роль в аэродинамических исследованиях играет число Рейнольдса:

$$Re = \frac{Vl}{\nu}, \quad (2.5)$$

где l – характерный размер испытываемой модели (ширина модели здания $l = 0,1$ м);

ν – кинематическая вязкость воздуха (в условиях эксперимента $\nu = 1,49 \cdot 10^{-5}$ м²/с).

Исходя из соображений получения достоверных результатов и дальнейшего сравнения их с нормативной документацией была принята рабочая скорость потока в аэродинамической трубе МАТ-1 ДонНАСА, соответствующая $Re \approx 5,7 \cdot 10^4$. Коэффициент ветрового давления в 22 точках модели рассчитывались в соответствии с выражением [10]:

$$C_p = \frac{\Delta P_i}{q}, \quad (2.6)$$

где ΔP_i – избыточное давление в исследуемой точке относительно атмосферного давления;

q – фактический скоростной напор в рабочей части аэродинамической трубы перед моделью:

$$q = \zeta_{i\partial} (P_a - P_s), \quad (2.7)$$

где $\zeta_{i\partial}$ – коэффициент трубки Пито-Прандтля;

P_a – атмосферное давление;

P_s – статическое давление.

Выражение (2.6) демонстрирует, что величина коэффициента давления зависит от распределения скорости потока воздуха набегающего на модель.

Процесс измерения статического воздушного давления, преобразование его в электрический сигнал, обработка и отображение полученных результатов автоматизирован с использованием высокопродуктивной информационно-вычислительной системы «SCADA». В ее состав входят: пневмокоммутатор с датчиками давления, высокопроизводительный компьютер с системой преобразования аналогового сигнала в цифровой, а также соответствующая коммутационная аппаратура и источники электрического питания [6].

Одновременно с измерением статического давления с помощью пневмокоммутатора выполнялось измерение мгновенных давлений с помощью специально разработанной для этого эксперимента системы "SCADA", которая построена на индивидуальных датчиках давления.

Программа аэродинамических экспериментальных исследований модели высотного здания М 1:300 в МАТ-1 предусматривала определения локальных коэффициентов ветрового давления (C_{pi}) в 21 точке расположенных на плоской кровле и 1 точке расположенной на 2/3 высоты модели в геометрическом центре поверхности грани (см. рис. 2.1). В процессе исследования определялись зависимости $C_{pi}=f(\beta)$ в диапазоне $\beta = 0...360^\circ$ с шагом $\Delta\beta = 10^\circ$ и дополнительными $\beta = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$. Указанные зависимости исследованы при двух вариантах степени турбулентности ветрового потока: $I_i = 0,02$ и $I_i = 0,2$.

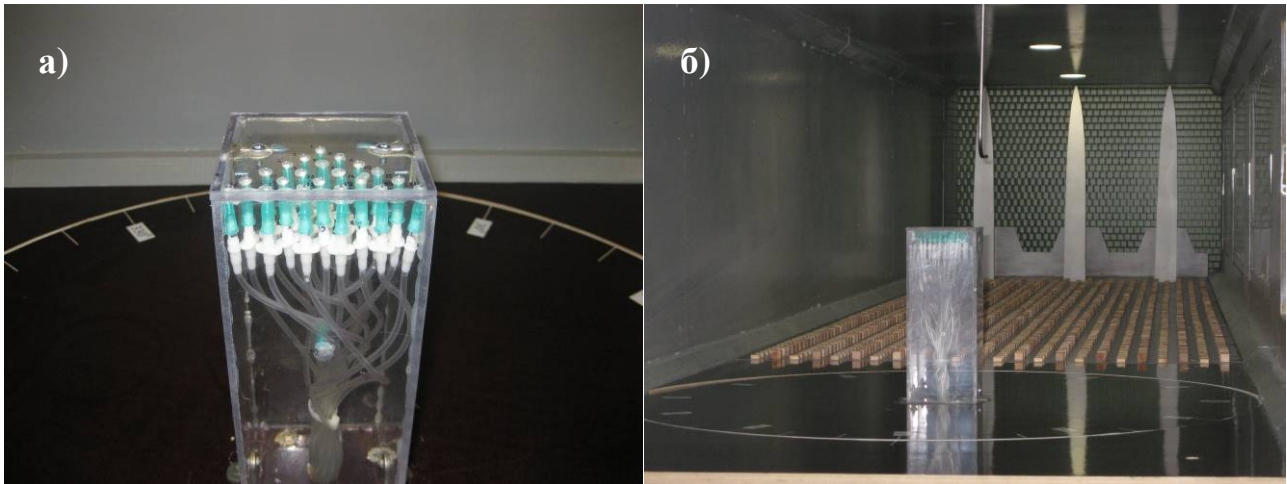


Рис. 2.1. Внешний вид модели высотного здания: а) расположение дренажных точек, б) в рабочей части МАТ-1

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены средние локальные коэффициенты ветрового давления C_{pi} для 22 дренажных точек модели. Коэффициенты C_{pi} дали возможность определить картину обтекания ветровым потоком плоской кровли высотного здания и выявить влияние степени турбулентности и угла атаки ветрового потока на модель высотного здания. Примеры результатов экспериментальных исследований приведены в графической форме (см. рис. 3.1-3.2).

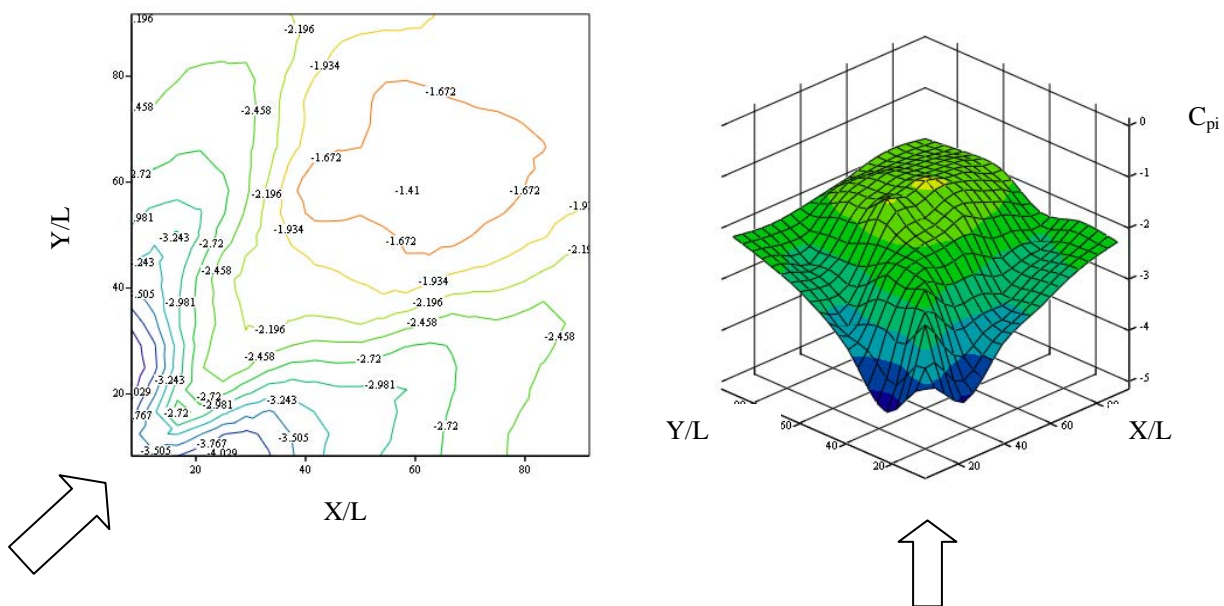


Рис.3.1. Экспериментальное значение коэффициента C_{pi} при степени турбулентности $I_i = 0,02$ и угле атаки ветрового потока $\beta = 45^\circ$

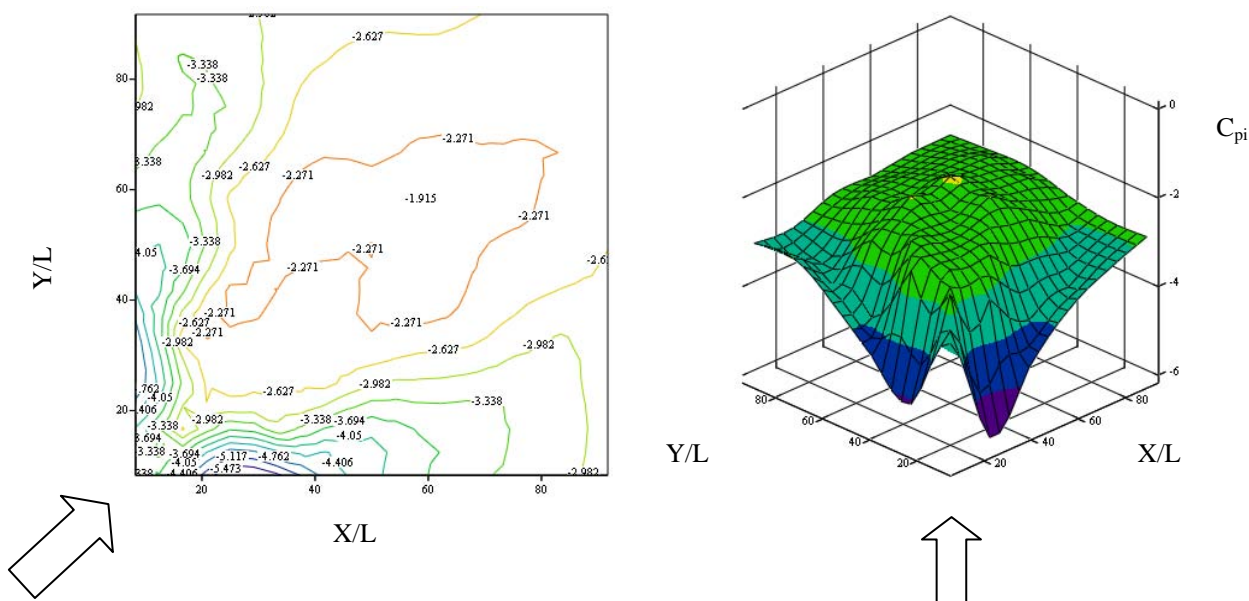


Рис. 3.2. Экспериментальное значение коэффициента C_{pi} при степени турбулентности $I_i = 0,2$ и угле атаки ветрового потока $\beta = 45^\circ$

4. ВЫВОДЫ

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована методика проведения аэродинамического эксперимента для плоской кровли высотного здания.
2. Определена зависимость между значениями коэффициента C_{pi} и:
 - направлением ветрового потока;
 - влиянием числа Рейнольдса;
 - распределением скорости ветрового потока в приземно-пограничном слое.
3. Экспериментальным путем определены средние локальные коэффициенты C_{pi} на кровле высотных зданий которые позволили определить образование конического вихря, который определяет отличную спецификацию ветрового нагружения мачт располагаемых на кровле высотных зданий в отличии от нормативной документации.

Литература

1. Горохов Е.В. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения / С.Г. Кузнецов // – Донецк: Норд-Пресс, 2009. - 168 с.
2. Горохов Е.В. Натурное исследование ветровых нагрузок на высотных сооружениях / Е.В. Горохов, В.Н. Васылев, С.Г. Кузнецов, Ю.И. Саливон // Сб. науч. трудов "Современные строительные конструкции из

металла и древесины" Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – 2007. – С. 33–38.

3. Горохов Е.В. Расчет ветровых нагрузок на конструкции в условиях городской застройки / Е.В. Горохов, С.Г.Кузнецов, В.Н. Васылев // Зб. наук. праць Українського наук.-досл. та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (Київ). – 2008. – №1. – С. 16–23.

4. Кузнецов С.Г. Чисельне моделювання вітрових навантажень висотних будівель / С.Г. Кузнецов // Міжвуз. зб. "Наукові нотатки" Луцький державний технічний університет. – 2008. – С. 168–173.

5. Кузнецов С.Г. Роль строительной аэродинамики в проектировании зданий и сооружений / С.Г. Кузнецов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури (Макіївка). – 2008. – № 6(74). – С. 120 – 125.

6. Мальцева Л.А. Основы цифровой техники. Радио и связь / Э.М. Фломберг, В.С. Ямпольский //, 1988 г., Москва.

7. Cook N.J. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 1: Background, damage survey, wind data and structural classification, Butterworths, London 1990.

8. Dyrbye C. Wind loads on structures. New York: John Wiley & Sons. 1999. – 229 p.

9. Holmes J.D. Wind loading of structures. Great Britain: Eastbourne. 2005. – 356 p.

10. Lawson T. Building aerodynamics. London: Imperial College Press. 2001. 286 p.

11. Banks D., Meroney R.N., Sarcar P.P. Flow visualization of conical vortices on flat roofs with simultaneous surface pressure measurement. Journal Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 84 (2000), pp. 65 - 85.

12. Анализ проблемы возникновения страхов и фобий у людей, живущих в непосредственной близости от базовых станций [Электронный ресурс]/ Безверхая А.П.// Державна санітарно-епідеміологічна служба кіровоградської області-2009.-Режим доступа: <http://oblises.kr.ua/press-centre/2009/6/filipp3/>.

Анотація

В статті представлена область застосування антенних опор. Виявлено недолік наукових знань при обтіканні вітровим потоком плоскої покрівлі, який став передумовою для дослідження даного питання. Описано методику фізичного моделювання та проведення експериментального дослідження моделі висотної будівлі у метеорологічній аеродинамічній трубі ДонНАБА. Представлені приклади результатів експериментальних досліджень. Визначені середні локальні коефіцієнти C_{pi} на покрівлі висотних будівель, які дозволили

виявити утворення конічного вихору, що визначає відмінну специфікацію вітрового навантаження щогл, розташованих на покрівлі висотних будівель на відміну від нормативної документації.

Ключові слова: висотна будівля, будівельна аеродинаміка, випробування у аеродинамічній трубі, локальний коефіцієнт, конічний вихор, вітровий потік.

Annotation

In this article the range of application of antenna bearers is presented. The lack of scientific knowledge is revealed when streamlining a flat roof/ This fact served as the precondition for this research. The technique of physical modelling and carrying out of an experimental research of model of a high-rise building in a meteorological wind tunnel of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture described. Examples of experimental results are presented. Average local factors C_{pi} on a roof of high-rise buildings, obtained in the result of experimental research allowed to define formation of a conical vortex which confirms the excellent specification of wind uploading for masts of high-rise buildings located on a roof in contrast to the standard documentation.

Keywords: high-rise building, building aerodynamics, wind tunnel tests, local factor, conical vortex, wind stream.